吉富罗非鱼对饲料中维生素 B_2 的需要量[1]

蒋　明错误！未定义书签。 任　春[2]　文　华[1*]　吴　凡[1]　杨长庚[1]　刘　伟[1]　田　娟[1]　周梦馨[1]

（1.中国水产科学研究院长江水产研究所，鱼类营养与饲料研究室，武汉 430223；2.华中农业大学水产学院，武汉 430070）

摘　要：本试验旨在确定吉富罗非鱼对饲料中维生素 B_2 的需要量。以酪蛋白、明胶和糊精等为主要饲料原料，配制维生素 B_2 含量分别为 0.5、2.6、5.4、10.8、20.4、39.7 mg/kg 的 6 种试验饲料，在室内循环水养殖系统中分别投喂初始体重为（59.5±0.9） g 的吉富罗非鱼 10 周，每种饲料投喂 3 个重复，每个重复放养 15 尾吉富罗非鱼。养殖试验结束后测定吉富罗非鱼的生长性能、肝脏维生素 B_2 含量和部分血清生化指标等。结果表明：吉富罗非鱼的增重率随饲料中维生素 B_2 含量的增加先呈线性增加，在达到 10.8 mg/kg 后趋于稳定，饲料效率的变化趋势与增重率类似；10.8、20.4、39.7 mg/kg 组脏体比显著高于 0.4、2.6 mg/kg 组（P<0.05）；10.8、20.4、39.7 mg/kg 组肝体比显著高于 0.4 mg/kg 组（P<0.05）；饲料中维生素 B_2 含量对肥满度无显著影响（P>0.05）。随着饲料中维生素 B_2 含量的增加，全鱼粗脂肪含量呈先增加后降低的趋势，5.4 mg/kg 组显著高于其他各组（P<0.05）；全鱼水分含量以 5.4 mg/kg 组最低，但显著低于除 39.7 mg/kg 组外的其他各组(P<0.05)；全鱼粗蛋白质含量以 39.7 mg/kg 组最高，显著高于除 5.4 mg/kg 组外的其他各组(P<0.05)；各组之间全鱼粗灰分含量无显著差异（P>0.05）。饲料中维生素 B_2 含量对肌肉和肝脏水分、粗蛋白质、粗脂肪含量均没有显著影响（P>0.05）。肝脏中维生素 B_2 含量随饲料中维生素 B_2 含量的增加而增加，在达

收稿日期：2017-04-15
基金项目：国家罗非鱼产业技术体系(CARS-49)；2010 年公益性行业（农业）科研专项(201003020)
作者简介：蒋　明（1979-），男，湖北黄梅人，副研究员，博士，从事鱼类营养与饲料研究。E-mail: jiangm.hb@163.com

*通信作者：文　华，研究员，硕士生导师，E-mail: wenhua.hb@163.com

到 20.4 mg/kg 后趋于稳定；0.4 mg/kg 组的血清总胆固醇、甘油三酯含量及谷丙转氨酶和谷草转氨酶活性显著高于其他各组（P<0.05）。折线模型分析表明，吉富罗非鱼获得最佳生长速度和最大肝脏维生素 B_2 蓄积量时，其对饲料中维生素 B_2 的需要量分别为 10.2 和 19.3 mg/kg。

关键词：吉富罗非鱼；核黄素；需要量；生长

中图分类号：S963　　　　文献标识码：A　　　　文章编号：

维生素 B_2（又称核黄素）是辅酶黄素单核苷酸和黄素腺嘌呤二核苷酸的组成部分，作为氧化还原酶类的辅基参与酮酸、脂肪酸和氨基酸的代谢[1]。动物维生素 B_2 摄入量低会导致生长不良、贫血、神经功能障碍和增加患某些癌症的风险，其不能在体内合成，必须从食物中摄取[2]。食物中缺乏维生素 B_2 亦会导致鱼类生理功能障碍，如出现厌食、生长缓慢、短小症、运动失调、体色发黑、眼睛出血和白内障等其中的一种或多种缺乏症状[1,3]，因此维生素 B_2 是养殖鱼类必需的一种重要水溶性维生素，有必要开展主要养殖鱼类对其营养需要量的研究。当前已有部分养殖鱼类对饲料中维生素 B_2 需要量的报道，如草鱼（*Ctenopharyngodon idella*）为 5.54~7.90 mg/kg[4-5]、团头鲂（*Megalobrama amblycephala*）为 5.21 mg/kg[6]、异育银鲫（*Carassius auratus gibelio*）为 3.76 mg/kg[7]、建鲤（*Cyprinus carpio* var.Jian）5.0 mg/kg[8]、斑点叉尾鮰(*Ictalurs punctatus*)为 6~9 mg/kg[9-10]、虹鳟（*Oncorhynchus mykiss*）为 3~15 mg/kg[11]。

罗非鱼是世界上主要养殖鱼类品种之一，当前关于罗非鱼对饲料中维生素 B_2 需要量的报道有蓝罗非鱼(*Oreochromis aureus*)[12]和红罗非鱼(*Oreochromis mossambicus*×*O. nilohus*)[13]，分别为 6.0 和 5.0 mg/kg。吉富罗非鱼（GIFT,*Oreochromis niloticus*）是经过遗传性状改良后的尼罗罗非鱼，是我国当前的主要罗非鱼养殖品系之一，其生长速度相对其他品系快 5%~30%[14]，其对维生素 B_2 需要量可能与蓝罗非鱼和红罗非鱼不同。并且，在本实验室关于吉富罗非鱼对维生素需要量的研究中也发现吉富罗非鱼对维生素 C[15]、胆碱[16]、烟

酸[17]等的需要量与其他品系的罗非鱼存在一定的差异，因此有必要重新评估吉富罗非鱼对维生素 B_2 的需要量。本试验通过考察饲料中维生素 B_2 含量对吉富罗非鱼生长性能、体成分、部分血清生化指标及肝脏维生素 B_2 含量等的影响，以确定吉富罗非鱼对饲料中维生素 B_2 的需要量。

1 材料与方法

1.1 试验饲料

以酪蛋白、明胶为蛋白质源，玉米油和豆油为脂肪源，糊精为糖源的半纯化饲料作为基础饲料，在基础饲料中分别添加 0、2.5、5.0、10.0、20.0、40.0 mg/kg 的维生素 B_2（维生素 B_2 纯度为 98%，货号为 Sigma R4500），配制 6 种试验饲料，经高效液相色谱法（检测方法依据 GB/T 14701-2002）检测，6 种试验饲料中维生素 B_2 含量分别为 0.5、2.6、5.4、10.8、20.4、39.7 mg/kg。饲料原料（除玉米油和大豆油）经粉碎过 0.20 mm 孔径分样筛，按表 1 配比混合均匀，少量的组分采用逐级扩大法混合。各干性饲料原料混匀后，加玉米油和豆油，继续充分混合至无油性颗粒，再加约 20%的水揉匀，然后用绞肉机制成粒径为 2.00 mm 的条状饲料，常温避光用电风扇吹干至水分<10%，破碎成长约 4.0 mm 的圆柱形颗粒饲料，过 0.90 mm 孔径分样筛，筛去粉末及细小颗粒饲料，将筛上饲料置于－20 ℃冰柜中冷藏备用。

表 1 基础饲料组成及营养水平(干物质基础)

Table 1 Composition and nutrient levels of the basal diet (DM basis) %

原料 Ingredients	含量 Content
酪蛋白 Casein	30.00
明胶 Glutin	7.50
糊精 Dextrine	38.00
玉米油 Corn oil	4.00
大豆油 Soybean oil	4.00
氯化胆碱 Choline chloride	0.25
维生素预混料 Vitamin premix[1)]	1.00
矿物盐预混料 Mineral premix[2)]	4.00
微晶纤维素 Micro-cellulose	11.25
合计 Total	100.00
营养水平 Nutrient levels	
水分 Moisture	9.45
粗蛋白质 Crude protein	35.16

粗脂肪 Crude lipid	7.52
粗灰分 Ash	2.73
总能 GE/(MJ/kg)	14.87

[1)]每千克维生素预混料提供 One kg of vitamin premixture supplied the following (mg/g mixture)：VB_1 5 g，泛酸钙 calcium pantothenate 10 g，*D*-生物素 *D*-biotin 0.6 g，VB_6 4 g，叶酸 folic acid 1.5 g，肌醇 inositol 200 g，*L*-维生素 C-2-磷酸镁 *L*-ascorbyl-2-monophosphate-Mg 60 g，烟酸 nicotinic acid 6.05 g，VA 2 000 000 IU，VD_3 400 000 IU，VE 50 g，VK_3 4 g。

[2)]每千克矿物盐预混料提供 One kg of mineral premix supplied the following：$Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$ 135.8 g，$Ca(CH_3CHOHCOO)_2 \cdot 5H_2O$ 327 g，$FeSO_4 \cdot 6H_2O$ 2.125 g，$MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 137 g，NaH_2PO_4 87.2 g，NaCl 43.5 g，$AlCl_3 \cdot 6H_2O$ 0.15 g，KIO_3 0.125 g，KCl 75 g，$CuCl_2 \cdot 2H_2O$ 0.1 g，$MnSO_4 \cdot H_2O$ 0.80 g，$CoCl_2 \cdot 6H_2O$ 1 g，$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ 3 g。

1.2 试验鱼和饲养管理

试验用鱼为广西罗非鱼国家级育种试验场繁育的吉富罗非鱼，试验鱼运回消毒后暂养 2 周，暂养期间投喂基础饲料，使其适应试验环境及试验饲料。正式试验开始前，将试验鱼饥饿 24 h 后，挑选规格一致和体格健壮的幼鱼 270 尾，平均初始质量为（59.5±0.9） g，随机分为 6 组，每组设有 3 个重复，每个重复放养 15 尾鱼，饲养于长江水产研究所室内循环水养殖系统中。该系统中含 18 个体积为 500 L 的养殖桶（有效水体积为 400 L）和水处理及增氧设施。每日 11:00 对过滤沙缸进行反冲洗，同时清除养殖桶内粪便，每日换水量约占总体积的 1/3（加注曝气后的城市自来水）。6 组试验鱼各投喂 1 种试验饲料，每天分 2 次（09：00 和 16：00）投喂，每次投喂时间持续约 30 min，表观饱食投喂。养殖试验持续 10 周，饲养期间水温为 27～33 ℃，pH 7.2～7.5，溶解氧浓度>5 mg/L，总氨氮浓度<0.5 mg/L。

1.3 样品采集、测定与计算

养殖 10 周后，试验鱼停食 24 h，以养殖桶为单位称量试验鱼的总质量，同时计数试验鱼尾数，计算终末体质量、增重率(weight gain rate，WGR)和成活率(survival rate，SR)；统计每个养殖桶投喂的饲料质量，计算饲料效率(feed efficiency，FE)。每桶随机取 6 尾鱼，3 尾用于测定全鱼基本营养成分；另 3 尾鱼测量体长和体重后，计算肥满度(condition factor，CF)，之后从尾静脉采血后进行解剖，迅速分离内脏和肝脏，并称其质量，计算脏体比(viscerosomatic index，VSI)和肝体比(hepatosomatic index，HSI)；称重后保留肝脏样品，用

于肝脏维生素 B_2 含量和抗氧化酶活性的测定；同时取背部双侧肌肉用于测定其基本营养成分。所采血液在 4 ℃静置 2 h 后，3 000 r/min 离心 10 min，取上清液，用于部分生化指标的检测。肝脏、肌肉、全鱼置-40 ℃冰箱中保存待测。增重率、饲料效率，成活率、肥满度、肝体比和脏体比的计算公式与文献[18]中所述相同。

样品的水分含量采用 105 ℃恒温干燥失重法测定，粗蛋白质含量采用凯氏定氮法测定，粗脂肪含量采用索氏抽提法测定，粗灰分含量采用马福炉灼烧法测定，总能采用氧弹测热仪(Parr-6200)测定。肝脏中维生素 B_2 含量依据 GB/T 9695.28-2008 采用高效液相色谱法检测。采用 Sysmex 全自动生化分析仪（Chemix-800）测定血清中甘油三酯和总胆固醇含量以及谷草转氨酶和谷丙转氨酶活性。

1.4 统计分析

试验数据采用 SPSS 19.0 统计软件中单因素方差分析（one-way ANOVA）和 Duncan 氏多重比较法进行差异显著性分析，试验结果均以平均值±标准差（mean±SD）表示。P<0.05 为差异显著。采用折线（broken-line)模型确定吉富罗非鱼对饲料中维生素 B_2 的需要量[19]。

2 结果与分析

2.1 饲料中维生素 B_2 含量对吉富罗非鱼生长性能、饲料效率及形体指标的影响

10 周的养殖试验结束时发现，0.4（5 尾）和 2.6 mg/kg 组(3 尾)的试验鱼有体型短小的症状，未发现其他肉眼可见的缺乏症。

表 2 显示了投喂不同维生素 B_2 含量饲料的吉富罗非鱼的生长性能、饲料效率及形体指标。随着饲料中维生素 B_2 含量的增加，吉富罗非鱼的终末体质量和增重率先呈线性增加，达到 10.8 mg/kg 后趋于稳定，其中 0.4 mg/kg 组显著低于其他各组（P<0.05）；饲料效率表现出的趋势与增重率类似；10.8、20.4、39.7 mg/kg 组脏体比显著高于 0.4、2.6 mg/kg 组（P<0.05）；10.8、20.4、39.7 mg/kg 组肝体比显著高于 0.4 mg/kg 组（P<0.05）。各组吉富罗非鱼的肥满

度无显著差异（P>0.05）。养殖试验期间无试验鱼死亡，各组成活率均为 100%。采用折线模型分析饲料中维生素 B_2 含量与吉富罗非鱼的增重率的关系(图 1)，得出饲料中维生素 B_2 含量为 10.2 mg/kg 时，吉富罗非鱼获得最佳生长速度。

表 2 投喂不同维生素 B_2 含量饲料的吉富罗非鱼的生长性能、饲料效率及形体指标

Table 2 Growth performance, feed efficiency and body indices of GIFT fed diets with different vitamin B_2 contents

项目 Items	饲料中维生素 B_2 含量 Dietary vitamin B_2 content/(mg/kg)					
	0.4	2.6	5.4	10.8	20.4	39.7
初始体质量 IBW/g	60.2±0.8	59.6±1.2	59.1±0.8	59.4±1.2	59.3±1.3	59.4±0.6
终末体质量 FBW/g	219.5±3.3^{a}	231.3±3.0^{b}	243.0±5.2^{c}	256.8±7.1^{d}	257.3±3.8^{d}	257.3±2.3^{d}
增重率 WGR/%	264.3±5.3^{a}	288.5±2.7^{b}	311.1±3.5^{c}	332.0±3.7^{d}	333.7±4.8^{d}	333.0±6.6^{d}
饲料效率 FE	0.62±0.03^{a}	0.71±0.02^{b}	0.77±0.03^{c}	0.81±0.03^{cd}	0.82±0.03^{d}	0.82±0.03^{d}
脏体比 VSI/%	8.5±0.5^{a}	8.4±0.6^{a}	9.0±0.5^{ab}	9.8±0.6^{c}	9.4±0.4^{bc}	9.8±0.8^{c}
肥满度 CF/(g/cm^3)	4.1±0.2	4.5±0.2	4.0±0.1	4.0±0.2	4.1±0.3	4.0±0.3
肝体比 HSI/%	2.03±0.3^{a}	2.05±0.2^{ab}	2.2±0.2^{abc}	2.5±0.2^{c}	2.4±0.3^{bc}	2.5±0.3^{c}

同行数据肩标相同或无小写字母表示差异不显著(P>0.05)，不同小写字母表示差异显著（P<0.05）。下表同。

Values in the same row with the same or no small letter superscripts mean no significant difference (P>0.05), while with different small letter superscripts mean significant difference (P<0.05). The same as below.

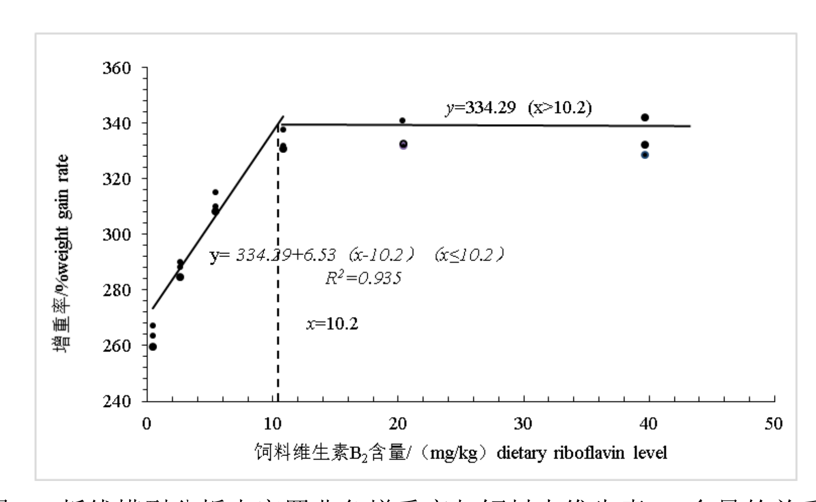


图 1 折线模型分析吉富罗非鱼增重率与饲料中维生素 B_2 含量的关系

Fig.1 Broken-line model analysis of the relationship between dietary vitamin B_2 content and WGR of GIFT

2.2 饲料中维生素 B_2 含量对吉富罗非鱼全鱼、肌肉、肝脏基本营养成分的影响

由表 3 可知，随着饲料中维生素 B_2 含量的增加，全鱼粗脂肪含量呈先增加后降低的趋

势，5.4 mg/kg 组显著高于其他各组（$P<0.05$），其他组之间无显著差异（$P>0.05$）；全鱼水分含量以 5.4 mg/kg 组最低，与 39.7 mg/kg 组差异不显著（$P<0.05$），但显著低于其他各组($P<0.05$)；全鱼粗蛋白质含量以 39.7 mg/kg 组最高，与 5.4 mg/kg 组差异不显著（$P<0.05$），但显著高于其他各组($P<0.05$)；各组之间全鱼粗灰分含量无显著差异（$P>0.05$）。饲料中维生素 B_2 含量对肌肉和肝脏水分、粗蛋白质、粗脂肪含量均没有显著影响（$P>0.05$）。

随着饲料中维生素 B_2 含量的增加，吉富罗非鱼肝脏中维生素 B_2 含量先呈线性增加，在达到 20.4 mg/kg 后趋于稳定，其中 5.4 mg/kg 组显著低于其他各组（$P<0.05$），同时 2.6、5.4、10.8 mg/kg 组显著低于 20.4 和 39.7 mg/kg 组（$P<0.05$）。采用折线模型分析饲料中维生素 B_2 含量与吉富罗非鱼肝脏中维生素 B_2 含量的关系（图 2），得出吉富罗非鱼肝脏中维生素 B_2 蓄积量达最大时，饲料中维生素 B_2 的含量为 19.3 mg/kg。

表 3 投喂不同维生素 B_2 含量饲料的吉富罗非鱼的全鱼、肌肉、肝脏基本营养成分及肝脏维生素 B_2 含量

Table 3 Basic nutritional components in whole body, muscle and liver and liver vitamin B_2 content of GIFT fed diets with different vitamin B_2 contents

项目 Items	饲料中维生素 B_2 含量 Dietary vitamin B_2 content/(mg/kg)					
	0.4	2.6	5.4	10.8	20.4	39.7
全鱼 Whole body						
水分 Moisture/%	70.0±0.7^{b}	70.2±0.8^{b}	68.0±0.9^{a}	70.1±0.5^{b}	70.5±0.9^{b}	69.1±0.9^{ab}
粗蛋白质 Crude protein/%	15.8±0.7^{ab}	15.4±0.5^{a}	15.8±0.6^{ab}	15.6±0.7^{a}	15.7±0.7^{a}	16.5±0.5^{b}
粗脂肪 Crude fat/%	10.4±0.8^{a}	11.2±0.8^{b}	12.3±0.4^{c}	10.1±0.8^{a}	10.1±0.3^{a}	10.2±0.7^{a}
粗灰分 Ash/%	2.2±0.6	2.1±0.5	2.0±0.3	2.1±0.4	2.0±0.3	1.9±0.3
肌肉 Muscle						
水分 Moisture/%	75.9±0.3	76.8±0.5	75.6±0.7	76.5±0.4	76.2±0.3	76.3±0.5
粗蛋白质 Crude protein/%	20.3±0.6	20.1±0.6	20.1±0.7	20.2±0.7	20.3±0.2	20.2±0.5
粗脂肪 Crude fat/%	1.7±0.2	1.6±0.2	1.7±0.1	1.6±0.2	1.6±0.2	1.6±0.1
肝脏 Liver						
水分 Moisture/%	67.3±1.4	67.8±0.5	68.7±1.1	67.1±1.3	68.4±0.9	67.8±1.2
粗蛋白质 Crude protein/%	14.0±2.5	13.7±1.4	14.4±1.2	13.9±2.4	13.7±1.3	14.1±2.0
粗脂肪 Crude fat/%	8.2±1.7	9.4±1.8	8.1±1.0	8.3±1.2	8.7±1.1	9.5±0.5
维生素 B_2 Vitamin B_2/(mg/kg)	0.56±0.05^{a}	0.67±0.02^{b}	0.75±0.02^{b}	0.96±0.04^{c}	1.16±0.07^{d}	1.17±0.07^{d}

2.3 饲料中维生素 B_2 含量对吉富罗非鱼部分血清生化指标的影响

表 4 显示了各组吉富罗非鱼部分血清生化指标的结果。0.4 mg/kg 组的血清总胆固醇含量显著高于其他各组（P<0.05），5.4 ~39.7 mg/kg 组间无显著差异（P>0.05）；0.4 mg/kg 组的血清甘油三酯含量及谷丙转氨酶和谷草转氨酶活性显著高于其他各组（P<0.05），其他各组之间无显著性差异（P>0.05）。

表 4 投喂不同维生素 B_2 含量饲料的吉富罗非鱼的部分血清生化指标

Table 4 Some serum biochemical indices of GIFT fed diets with different vitamin B_2 contents

项目 Items	饲料中维生素 B_2 含量 Dietary vitamin B_2 content/(mg/kg)					
	0.4	2.6	5.4	10.8	20.4	39.7
甘油三酯 TG/（mmol/L）	2.5±0.5^b	1.9±0.4^a	1.8±0.2^a	1.5±0.6^a	1.3±0.3^a	1.5±0.3^a
总胆固醇 TCHO/（mmol/L）	5.5±0.4^c	4.6±0.6^b	4.0±0.3^{ab}	4.0±0.4^{ab}	3.7±0.3^a	3.9±0.4^a
谷丙转氨酶 ALT/（U/L）	34.0±3.7^b	25.6±4.6^a	25.7±4.1^a	25.5±4.5^a	24.3±3.7^a	24.5±4.2^a
谷草转氨酶 AST/（U/L）	65.2±3.8^b	52.4±3.5^a	47.7±3.2^a	45.8±2.7^a	50.7±2.6^a	47.7±3.1^a

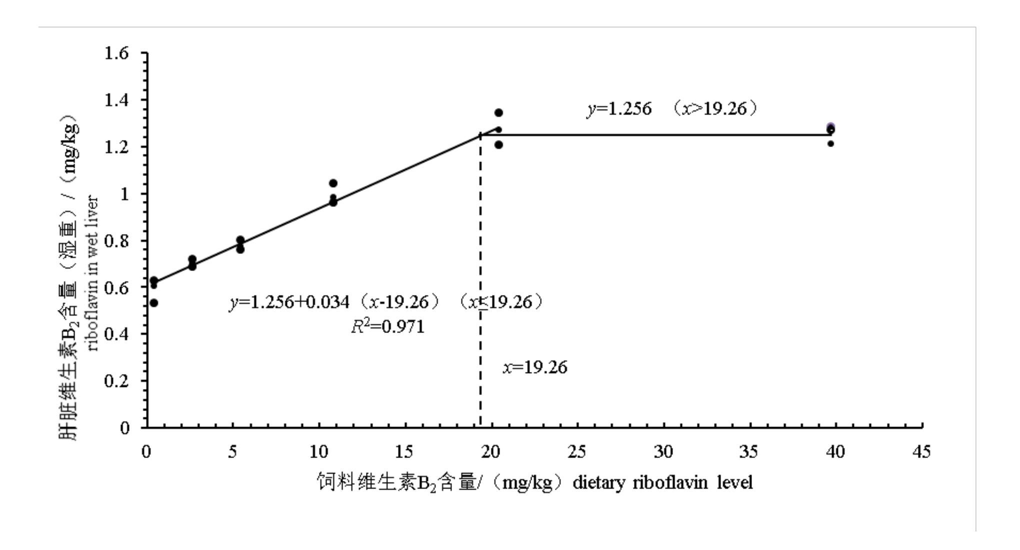


图 2 吉富罗非鱼肝脏中 B_2 含量与饲料中维生素 B_2 含量的关系折线模型分析

Fig.2 Broken-line model analysis of the relationship between dietary vitamin B_2 content and liver vitamin B_2 content of GIFT

3 讨 论

饲料中缺维生素 B_2 时，鱼类会出现白内障、短小症、厌食、生长缓慢、运动失调、体

色发黑、眼睛出血等其中的一种或多种缺乏症状[3]。本上验中 0.4 mg/kg 组除了生长缓慢和部分试验鱼体形短小外，未发现其他明显的维生素 B_2 缺乏症。此结果与在斑点叉尾鮰[9-10]、蓝罗非鱼[12]、异育银鲫[7]上所得研究结果类似。饲料中缺乏维生素 B_2 会影响感光过程，导致鲑鳟鱼[3]、杂交条纹鲈[20]产生白内障，但本试验中未观察到白内障的症状，其原因可能是本试验采用的试验鱼初始时个体较大，其眼球发育相对成熟，从而未出现白内障症状；此外，基础饲料中含有少量维生素 B_2，其可能能够维持试验鱼眼球正常发育。

连续 10 周养殖试验后发现，饲料中维生素 B_2 不足，吉富罗非鱼的终末体质量降低，进一步提高饲料中维生素 B_2 含量，其饲料效率得到显著改善，肝体比、脏体比得到提高。并且，在基础饲料中补充维生素 B_2 后显著提高了吉富罗非鱼的增重率，这一结果与在草鱼[4]、异育银鲫[7]和斑点叉尾鮰[9]等上所得结果相一致。这是因为饲料中适量的维生素 B_2 能促进体内蛋白质、糖类、脂肪的代谢，继而促进鱼类的生长发育[3]。以增重率为评价指标，经折线模型分析得到吉富罗非鱼维生素 B_2 需要量为 10.2 mg/kg。该结果高于红罗非鱼[12]和蓝罗非鱼[13]。其可能是吉富罗非鱼经长期选育，其生长速度较其他品系罗非鱼快 5%~30%[14]，吉富罗非鱼在快速生长过程需要大量能量，而维生素 B_2 在生物氧化过程中起递氢作用，与蛋白质、脂质和糖类代谢密切相关[1]，因此生长较快的吉富罗非鱼对维生素 B_2 需要量会增大。在早前关于猪的维生素 B_2 需要量的研究中也发现生长速度较快的基因改良型猪的维生素 B_2 需要量较普通猪的需要量要多[21]，本试验结果与此类似。

肝脏维生素 B_2 蓄积量常作为水产动物维生素 B_2 需要量的评价指标，以肝脏维生素 B_2 蓄积量为评价指标比以增重率为评价指标所得的需要量高[3]。本试验发现，随着饲料中维生素 B_2 含量的增加，吉富罗非鱼肝脏中维生素 B_2 含量先呈线性增加后趋于稳定。以肝脏中维生素 B_2 蓄积量为评价指标，经折线模型分析得出，吉富罗非鱼对饲料中维生素 B_2 需要量为 19.3 mg/kg，其高于以增重率为评价指标所得的 10.2 mg/kg。这一结果与在虹鳟[11]和草鱼[4-5]等上所得结果一致。

本试验中，随着饲料中维生素B_2含量的增加，吉富罗非鱼全鱼粗脂肪含量先增加后减少，这与在草鱼[4]和团头鲂[6]上所得结果相似。饲料中维生素B_2不足会影响鱼类神经系统，导致摄食减少[3]，进而引起体脂肪含量减少；适量的维生素B_2提高了营养物质的消化吸收，从而提高了体脂肪的含量；而过多的维生素B_2可能促进了脂肪的分解代谢，导致体脂肪含量降低。在猪的维生素B_2营养研究中亦发现过量的维生素B_2可降低猪胴体的脂肪含量[22]。维生素B_2对全鱼粗蛋白质、粗灰分和水分含量的影响目前的报道并不一致。王菲等[6]报道饲料中维生素B_2含量对团头鲂的全鱼水分、粗蛋白质和粗灰分含量均无显著影响；王锦林[7]报道饲料中维生素B_2含量对异育银鲫的全鱼水分和粗蛋白质含量无显著影响，而对粗灰分含量有显著影响；姜建湖等[5]报道饲料中维生素B_2含量对草鱼全鱼体成分均无显著影响。本研究中饲料中维生素B_2含量对全鱼粗灰分含量无显著影响，但高含量的维生素B_2提高了全鱼粗蛋白质含量，其原因可能是蛋白质沉积需要较多的维生素B_2[22]。以上不同的研究者的结果不尽一致，可能是由于不同的试验对象和试验条件引起的。

肝体比的大小一定程度反映了鱼体肝脏的健康程度，但是维生素 B_2 对鱼类肝体比的影响在不同的试验对象中呈现不同的结果，如在草鱼[4]和杂交条纹鲈[20]及本试验中发现投喂缺乏维生素 B_2 饲料组试验鱼的肝体比显著低于其他添加组，而在异育银鲫的研究中则发现饲料中维生素 B_2 含量对肝体比无显著影响[7]，也有研究表明投喂缺乏维生素 B_2 饲料组金头鲷（*Sparus aurata* L.）的肝体比显著高于其他添加组[23]。有研究者认为这种差异可能与试验饲料中的脂肪水平相关[7]，但目前鱼类营养研究中还缺少饲料脂肪水平与维生素 B_2 交互作用的报道，因此维生素 B_2 对不同鱼类肝体比的影响还有待进一步研究。

维生素 B_2 具有抑制脂质过氧化、降低血脂等作用，能降低血清甘油三酯、低密度蛋白胆固醇和总胆固醇等脂类的含量[24-25]。饲料中适量的维生素 B_2 能显著降低血清丙二醛、总胆固醇、甘油三酯和低密度脂蛋白胆固醇含量，增强超氧化物歧化酶活性[26-28]。本试验也发现，饲料中添加维生素 B_2 能显著降低吉富罗非鱼血清中甘油三酯和总胆固醇含量，这也证

明饲料中适量的维生素 B_2 能促进脂肪代谢，从而减少血清中脂质含量的论断。已有研究表明维生素 B_2 可保护组织免受氧化损伤[28]，并能够降低小鼠血清谷草转氨酶活性[29]，本试验结果与其类似，说明维生素 B_2 对吉富罗非鱼肝脏可能亦具有保护作用。

4 结论

① 饲料中维生素 B_2 不足会降低吉富罗非鱼的生长速度和饲料效率。

② 随着饲料中维生素 B_2 含量的增加，吉富罗非鱼的增重率和肝脏中维生素 B_2 含量呈先线性增加后稳定的趋势。以增重率和肝脏维生素 B_2 含量为评价指标，通过折现模型分析得出吉富罗非鱼对饲料中维生素 B_2 的需要量分别为 10.2 和 19.3 mg/kg。

参考文献：

[1] BARILE M,GIANCASPERO T A,LEONE P,et al.Riboflavin transport and metabolism in humans[J].Journal of Inherited Metabolic Disease,2016,39(4):545–557.

[2] GOLBACH J L,RICKE S C,O'BRYAN C A,et al.Riboflavin in nutrition,food processing,and analysis-a review[J].Journal of Food Research,2014,3(6):23–35.

[3] NRC.Nutrient requirements of fish and shrimp[S].Washington,D.C.:National Academies Press,2011:185–219.

[4] 刘安龙.草鱼幼鱼对饲料中核黄素、生物素和泛酸需要量的研究[D].硕士学位论文.武汉:华中农业大学,2007.

[5] 姜建湖,陈建明,沈斌乾,等.草鱼幼鱼对饲料中核黄素的需要量[J].动物营养学报,2016,28(9):2771–2777.

[6] 王菲,李向飞,李鹏飞,等.饲料维生素 B_2 水平对团头鲂幼鱼生长性能、体组成、抗氧化功能和肠道酶活性的影响[J].江苏农业科学,2016,45(5):319–324.

[7] 王锦林.异育银鲫对维生素 B_2,维生素 B_6 和烟酸的需求量的研究[D].硕士学位论文.武汉:中国科学院水生生物研究所,2007.

[8] 李伟.核黄素对幼建鲤生长及消化吸收功能的影响[D].硕士学位论文.雅安:四川农业大学,2008.

[9] MURAI T,ANDREWS J W.Riboflavin requirement of channel catfish fingerlings[J].The Journal of Nutrition,1978,108(9):1512–1517.

[10] SERRINI G,ZHANG Z,WILSON R P.Dietary riboflavin requirement of fingerling channel catfish (*Ictalurus punctatus*)[J].Aquaculture,1996,139(3):285–290.

[11] TAKEUCHI L,TAKEUCHI T,OGINO C.Riboflavin requirements in carp and rainbow trout[J].Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries,1980,46(6):733–737.

[12] LIM C,LEAMASTER B,BROCK J A.Riboflavin requirement of fingerling red hybrid tilapia grown in seawater[J].Journal of the World Aquaculture Society,1993,24(4):451–458.

[13] SOLIMAN A K,WILSON R P.Water-soluble vitamin requirements of tilapia.2.Riboflavin requirement of blue tilapia,*Oreochromis aureus*[J].Aquaculture,1992,104(3/4):309–314.

[14] 强俊,杨弘,何杰,等.3 种品系尼罗罗非鱼生长及高密度胁迫后生理响应变化的比较[J].中国水产科学,2014,21(1):142–152.

[15] HUANG F,JIANG M,WEN H,et al.Dietary vitamin C requirement of genetically improved farmed Tilapia,*Oreochromis Niloticus*[J].Aquaculture Research,2016,47(3):689–697.

[16] 邵辉,文华,刘伟,等.吉富罗非鱼成鱼胆碱的最适需要量[J].中国水产科学,2013,20(5):1007–1014.

[17] JIANG M,HUANG F,WEN H,et al.Dietary niacin requirement of GIFT tilapia,*Oreochromis niloticus*,reared in freshwater[J].Journal of the World Aquaculture Society,2014,45(3):333–341.

[18] 蒋明,武文一,文华,等.吉富罗非鱼对饲料中苯丙氨酸的需要量[J].中国水产科学,2016,23(5):1173–1184.

[19] ROBBINS K R,SAXTON A M,SOUTHERN L L.Estimation of nutrient requirements using broken-line regression analysis[J].Journal of Animal Science,2006,84(Suppl.):E155–E165.

[20] DENG D F,WILSON R P.Dietary riboflavin requirement of juvenile sunshine bass (*Morone chrysops* ♀×*Morone saxatilis* ♂)[J].Aquaculture,2003,218(1/2/3/4):695–701.

[21] 曹满湖,陈清华.维生素和矿物质对猪肉品质的影响[J].肉类研究,2007(8):46–49.

[22] 郭福有,魏平华,张健騑.猪维生素营养研究进展[J].畜牧与兽医,2002,34(3):8–10.

[23] MORRIS P C,DAVIES S J,LOWE D M.Qualitative requirement for B vitamins in diets for the gilthead seabream (*Sparus aurata* L.)[J].Animal Science,1995,61(2):419–426.

[24] 王鑫,王宝维,葛文华,等.维生素B_2对5~16周龄五龙鹅屠宰性能、肌肉品质及脂肪代谢的影响[J].动物营养学报,2014,26(1):98–105.

[25] 顾清,周朋辉,张静姝,等.核黄素对高脂血症大鼠脂质代谢的影响[J].中国慢性病预防与控制,2015,23(1):34–36.

[26] CHEN L,FENG L,JIANG W D,et al.Dietary riboflavin deficiency decreases immunity and antioxidant capacity,and changes tight junction proteins and related signaling molecules mRNA expression in the gills of young grass carp (*Ctenopharyngodon idella*)[J].Fish & Shellfish Immunology,2015,45(2):307–320.

[27] TANG J,WEN Z G,GUO Z B,et al.Dietary riboflavin supplementation improve the growth performance and antioxidant status of starter white Pekin ducks fed a corn–soybean meal diets[J].Livestock Science,2014,170:131–136.

[28] ASHOORI M,SAEDISOMEOLIA A.Riboflavin (vitamin B_2) and oxidative stress:a

review[J].British Journal of Nutrition,2014,111(11):1985–1991.

[29] SANCHES S C,RAMALHO L N Z,MENDES-BRAZ M,et al.Riboflavin (vitamin B_2) reduces hepatocellular injury following liver Ischaemia and reperfusion in mice[J].Food and Chemical Toxicology,2014,67:65–71.

Dietary Vitamin B_2 Requirement of Genetically Improved Farmed Tilapia (*Oreochromis niloticus*)

JIANG Ming[1,2] REN Chun[1] WEN Hua[1*] WU Fan[1] YANG Changgeng[1] LIU Wei[1] TIAN Juan[1] ZHOU Mengxin[1]

（1. *Fish Nutrition and Feed Division, Yangtze River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuhan* 430223, *China*; 2. *College of Fisheries, Huazhong Agricultural University, Wuhan* 430070, *China*）

Abstract: The present study was conducted to determine the dietary vitamin B_2 requirement of genetically improved farmed tilapia (GIFT, *Oreochromis niloticus*). Six experimental diets were formulated to contain 0.5, 2.6, 5.4, 10.8, 20.4 and 39.7 mg/kg vitamin B_2 using casein, dextrin and gelatin as chief feed sources, respectively. Each diet was assigned to three replicates of 15 GIFT [initial body weight=(59.5±0.9) g] which were cultured in recirculating aquaculture system for 10 weeks, and the growth performance, liver vitamin B_2 content, some serum biochemical indices, etc. of were GIFT were determined after the cultural experiment. The results showed as follows: with the increase of dietary vitamin B_2 content, the weight gain rate of GIFT first increased linearly and then remained nearly unchanged when dietary vitamin B_2 content came up to 10.8 mg/kg. The results of feed efficiency showed the similar tendency with the result of weight gain rate. Viscerosomatic index in 10.8, 20.4 and 39.7 mg/kg groups was significantly higher than that in 0.4 and 2.6 mg/kg groups（P<0.05）, and the hepatosomatic index in 10.8, 20.4 and 39.7 mg/kg groups was significantly higher than that in 0.4 mg/kg group （P<0.05）. No significant difference was observed in condition factor among all groups (P>0.05). With the increase of dietary vitamin B_2 content, the crude lipid content in whole body was firstly increased and then decreased, and it in 5.4 mg/kg group was significantly higher than that in other groups （P<0.05）. The moisture content in whole body in 5.4 mg/kg group was the lowest, which was significantly lower than other groups except 39.7 mg/kg group（P<0.05）. The crude protein content in whole body in 39.7 mg/kg group was the highest, which was significantly higher than other groups except 5.4 mg/kg group （P<0.05）. Dietary vitamin B_2 content had no significant effects on the content of ash in

*Corresponding author, professor, E-mail: wenhua.hb@163.com (责任编辑 菅景颖)

whole body and the contents of moisture, crude protein, crude lipid in muscle and liver (P>0.05). With the increase of dietary vitamin B_2 content, the content of vitamin B_2 in liver increased linearly until came up to 20.4 mg/kg, and then hold steady. The contents of serum total cholesterol and triglyceride and the activities of serum aspartate aminotransferase and alanine aminotransferase in 0.4 mg/kg group was significantly higher than those in other groups (P<0.05). Broken-line model analysis indicate that the dietary vitamin B_2 requirement of GIFT is estimated to be 10.2 mg/kg for maximum growth rate, 19.3 mg/kg for maximum vitamin B_2 accumulation in liver, respectively.

Key words: GIFT; riboflavin; requirement; growth